

This Page Is Inserted by IFW Operations  
and is not a part of the Official Record

## **BEST AVAILABLE IMAGES**

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

**IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.**

**As rescanning documents *will not* correct images,  
please do not report the images to the  
Image Problems Mailbox.**

**PAT-NO:** JP410206445A

**DOCUMENT-IDENTIFIER:** JP 10206445 A

**TITLE:** METHOD AND APPARATUS FOR MEASURING ROTATIONAL SPEED OF  
DRIVING SHAFT

**PUBN-DATE:** August 7, 1998

**INVENTOR-INFORMATION:**

**NAME**  
SHII, NORIKO

**ASSIGNEE-INFORMATION:**

<b>NAME</b>	<b>COUNTRY</b>
YAMAHA MOTOR CO LTD	N/A

**APPL-NO:** JP09008114

**APPL-DATE:** January 20, 1997

**INT-CL (IPC):** G01P003/486, H02P005/00

**ABSTRACT:**

**PROBLEM TO BE SOLVED:** To enable a measuring system to be compact, and quickly and accurately measure a rotational speed of a rotary shaft and calculate an acceleration based on the rotational speed.

**SOLUTION:** Through holes 25, 26 of two directions nearly orthogonal to each other are formed to a rotary shaft 22 coupled to a driving shaft. The through holes are orthogonal to an axis of the rotary shaft 22. A light-emitting part 23 and a light-detecting part 24 are arranged outside of parts of the rotary shaft 22 where the through holes are formed. The parts 23, 24 are faced to each other via the rotary shaft 22. A revolution sensor 20 is thus constituted. A light from the light-emitting part 23 passing through the through hole 25 or 26 to reach the light-detecting part 24 is detected during the rotation of the rotary shaft 22 with the use of the revolution sensor 20. A revolution speed of the rotary shaft is measured for every 1/4 rotation on the basis of the detection of the light. Moreover, an acceleration is calculated from measured data of at least two revolution speeds.

**COPYRIGHT:** (C)1998,JPO

**DERWENT-ACC-NO:** 1998-484378

**DERWENT-WEEK:** 199843

**COPYRIGHT 1999 DERWENT INFORMATION LTD**

**TITLE:** Drive shaft rotational speed measurement method for tachometer - involves computing acceleration from rotational speed measured for every predetermined angle of rotation of revolving shaft coupled with drive shaft

**PATENT-ASSIGNEE:** YAMAHA MOTOR CO LTD[YMHA]

**PRIORITY-DATA:** 1997JP-0008114 (January 20, 1997)

**PATENT-FAMILY:**

<b>PUB-NO</b>	<b>PUB-DATE</b>	<b>LANGUAGE</b>	<b>PAGES</b>	<b>MAIN-IPC</b>
JP 10206445 A	August 7, 1998	N/A	010	G01P 003/486

**APPLICATION-DATA:**

<b>PUB-NO</b>	<b>APPL-DESCRIPTOR</b>	<b>APPL-NO</b>	<b>APPL-DATE</b>
JP 10206445A	N/A	1997JP-0008114	January 20, 1997

**INT-CL (IPC): G01P003/486, H02P005/00**

**ABSTRACTED-PUB-NO:** JP 10206445A

**BASIC-ABSTRACT:**

The method involves using a rotation sensor (20) which includes a light emitter (23) and an optical receiver (24) being arranged on both sides of a revolving shaft (22) outside the through-hole formation portion. The light is transmitted through a couple of through-holes (25,26) which cross in mutually perpendicular directions from the light emitter, and the light received by the optical receiver during rotation of the revolving shaft coupled with a drive shaft, is detected.

The rotational speed is measured for every predetermined angle of rotation of the revolving shaft based on the detection result. The acceleration is then computed from the measured speed.

**ADVANTAGE - Enables to measure speed and compute acceleration quickly and accurately.**

**CHOSEN-DRAWING:** Dwg.2/9

**TITLE-TERMS:** DRIVE SHAFT ROTATING SPEED MEASURE METHOD TACHOMETER COMPUTATION  
ACCELERATE ROTATING SPEED MEASURE PREDETERMINED ANGLE ROTATING  
REVOLVING SHAFT COUPLE DRIVE SHAFT

**DERWENT-CLASS:** S02 V06

**EPI-CODES: S02-G01B1; V06-N; V06-U12;**

**SECONDARY-ACC-NO:**

**Non-CPI Secondary Accession Numbers: N1998-377935**

(19) 日本国特許庁 (JP)

(12) 公開特許公報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開平10-206445

(43) 公開日 平成10年(1998)8月7日

(51) Int.Cl.<sup>6</sup>  
G 0 1 P 3/486  
H 0 2 P 5/00

識別記号

F I  
G 0 1 P 3/486  
H 0 2 P 5/00

E  
R

審査請求 未請求 請求項の数5 O.L (全10頁)

(21) 出願番号

特願平9-8114

(22) 出願日

平成9年(1997)1月20日

(71) 出願人 000010076

ヤマハ発動機株式会社  
静岡県磐田市新貝2500番地

(72) 発明者 植 典子

静岡県磐田市新貝2500番地 ヤマハ発動機  
株式会社内

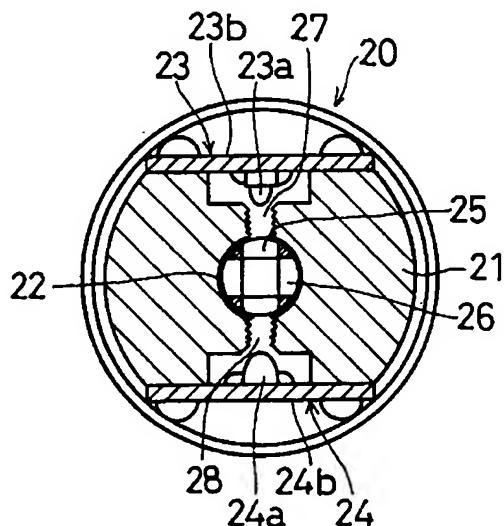
(74) 代理人 弁理士 小谷 悅司 (外3名)

(54) 【発明の名称】 駆動軸の回転速度計測方法及び同装置

(57) 【要約】

【課題】 測定系のコンパクト化を可能にしつつ、回転軸の回転速度の計測とそれに基づく加速度の算出を迅速に、しかも精度良く行なうことができるようとする。

【解決手段】 駆動軸に連結された回転軸22に、その軸心と直交し、かつ互いに略直交する2方向の貫通孔25, 26を形成するとともに、この回転軸22の貫通孔形成個所の外方に、発光部23と受光部24とを回転軸22を挟んで対向するように配置することにより回転センサ20を構成する。この回転センサ20を用い、上記回転軸22の回転中に、発光部23から貫通孔25または26を透過して受光部24に達する光を検出し、この検出に基づいて回転軸の1/4回転毎に回転速度を計測する。さらに、その少なくとも2回分の回転速度計測データから加速度を算出する。



## 【特許請求の範囲】

【請求項1】 駆動軸に連結された回転軸に、その軸心と直交し、かつ互いに所定角度をもって交差する複数方向の貫通孔を形成するとともに、この回転軸の貫通孔形成個所の外方に、発光部と受光部とを回転軸を挟んで対向するように配置することにより回転センサを構成し、上記回転軸の回転中に上記発光部から上記貫通孔を透過して受光部に達する光を検出し、この検出に基づいて回転軸の所定回転角毎に回転速度を計測し、その少なくとも2回分の回転速度計測データから加速度を算出することを特徴とする駆動軸の回転速度計測方法。

【請求項2】 複数方向の貫通孔として互いに略直交する2方向の貫通孔を回転軸に形成し、発光部から貫通孔を透過して受光部に達する光の検出に基づいて回転軸の1/4回転毎に回転速度を計測することを特徴とする請求項1記載の駆動軸の回転速度計測方法。

【請求項3】 今回の回転速度計測データと前回の回転速度計測データとに基づく加速度の算出を回転軸の1/4回転毎に行なうとともに、その加速度の移動平均を求め、その平均値をもって加速度の最終演算値とすることを特徴とする請求項2記載の駆動軸の回転速度計測方法。

【請求項4】 上記発光部から受光部に向けて照射される光を略平行光としたことを特徴とする請求項1乃至3のいずれかに記載の駆動軸の回転速度計測方法。

【請求項5】 駆動軸に連結される回転軸にその軸心と直交するとともに互いに所定角度をもって交差する複数方向の貫通孔を形成するとともに、上記回転軸の貫通孔形成個所の外方に貫通孔を挟んで対向するように発光部及び受光部を配置して、上記回転軸の回転中に上記発光部から受光部に向かう光の断続に応じた回転パルス信号を出力するように構成された回転センサと、この回転パルス信号を入力してその周期に基づき所定回転角毎の回転速度を算出するとともに、その少なくとも2回分の回転速度データから加速度を算出する演算手段とを有することを特徴とする駆動軸の回転速度計測装置。

## 【発明の詳細な説明】

## 【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、電動モーターによって回転駆動される駆動軸の回転速度を計測してモータを制御等に利用する駆動軸の回転速度計測方法及び同装置に関するものである。

## 【0002】

【従来の技術】従来から電動モータにより各種機器、部材等を駆動する場合に、エンコーダ等により回転速度や加速度を計測し、それに基づいてモータのトルク等を制御することは種々の分野で行なわれている。

【0003】例えば、最近、簡単な操作で能率良くネジ穴検査を行うことができる動力ネジゲージが開発されており（例えば特開平7-301505号公報参照）、こ

の動力ネジゲージにおいても回転速度の計測に基づき、動力源としての電動モータに対する供給電流が制御されるようになっている。すなわち、この動力ネジゲージは、各ネジ穴径について規定トルク（人が無理なくネジゲージを回すことができる程度のトルク値）を設定し、電動モータによりネジゲージを回転させながらこれをネジ穴に螺合せしめてネジ穴探さを同時に計測し、該ネジゲージのトルクが規定トルクに達した時点でネジゲージを停止させ、そのとき表示されるネジ探さによってネジ穴の検査を行うようにしたものであり、その電動モータに対して回転センサが設けられ、この回転センサにより検出される回転速度に応じてモータ駆動を制御している。

## 【0004】

【発明が解決しようとする課題】従来の一般的なエンコーダ等による計測の手法によると、回転軸の周囲に被検出用の切欠円板等が付設されるとともに、これに対してさらに検出手段が配設されるため、上記動力ネジゲージ等に適用した場合に装置が大型化して取扱いが不便になる。しかも、被検出用の切欠等を所定回転角毎に設けておいても、加工誤差があった場合、1回転するまで回転速度を正確に検出することができず、上記動力ネジゲージ等において1回転より小さい回転角毎の計測、制御の精度を高めることが難しいといった問題がある。

【0005】ところで、上記動力ネジゲージでは、規定トルクに達すると回転を停止させるようになっていて、回転軸に規定トルク以上の大きなトルクが加わることがないので、回転軸の剛性は比較的小さくても実用上差し支えない。そこで、上記公報にも示されるように、モータ出力軸に連結される回転軸にその軸心と直交する1方向の直線的な貫通孔を形成するとともに、その両側に発光部と受光部とを配設して回転センサを構成し、回転軸の1/2回転毎に上記貫通孔を透過する光を検出し、それに基づいて回転速度を検出することも考えられている。

【0006】このようにすると、従来の一般的な手法と比べて装置が小型化されるとともに、1/2回転毎に比較的精度良く回転速度を検出することができる。ただし、上記回転速度に基づいてさらに加速度を算出しようとする場合、1回転以上の測定データが必要となり、制御性向上等のためには、速度の計測とそれに基づく加速度の算出をより一層早く行なうことが望まれる。

【0007】本発明は、上記の事情に鑑み、測定系のコンパクト化を可能にしつつ、回転軸の回転速度の計測とそれに基づく加速度の算出を迅速に、しかも精度良く行なうことができる駆動軸の回転速度計測方法及び同装置を提供することを目的とする。

## 【0008】

【課題を解決するための手段】請求項1に係る計測方法の発明は、駆動軸に連結された回転軸に、その軸心と直

交し、かつ互いに所定角度をもって交差する複数方向の貫通孔を形成するとともに、この回転軸の貫通孔形成箇所の外方に、発光部と受光部とを回転軸を挟んで対向するように配置することにより回転センサを構成し、上記回転軸の回転中に上記発光部から上記貫通孔を透過して受光部に達する光を検出し、この検出に基づいて回転軸の所定回転角毎に回転速度を計測し、その少なくとも2回分の回転速度計測データから加速度を算出するようにしたものである。

【0009】具体的には、複数方向の貫通孔として、互いに略直交する2方向の貫通孔を回転軸に形成するようになりし、この場合、発光部から貫通孔を透過して受光部に達する光の検出に基づく回転速度の計測は、回転軸の1/4回転毎に行なう（請求項2）。

【0010】このような方法によると、回転速度及び加速度を1回転未満の測定データから求めることが可能となる。例えば、互いに略直交する2方向の貫通孔が回転軸に形成されている場合、回転軸の1/4回転毎に回転速度が求められるとともに、その少なくとも2回分のデータ、つまり1/2回転の間の回転速度のデータに基づいて加速度が算出される。

【0011】そして、上記のように回転軸を貫通する複数方向の貫通孔が用いられる、その加工誤差があった場合でも後述のように理論的に1/2回転で誤差の影響がなくなり、充分に精度良く回転速度及び加速度が求められる。

【0012】この方法において、今回の回転速度計測データと前回の回転速度計測データに基づく加速度の算出を回転軸の1/4回転毎に行なうとともに、その加速度の移動平均を求め、その平均値をもって加速度の最終演算値とすれば（請求項3）、上記回転速度に基づいて算出される加速度の精度が高められる。

【0013】上記発光部から受光部に向けて照射される光を略平行光とすれば（請求項4）、計測の精度が高められる。

【0014】また、請求項5に係る計測装置の発明は、駆動軸に連結される回転軸にその軸心と直交するとともに互いに所定角度をもって交差する複数方向の貫通孔を形成するとともに、上記回転軸の貫通孔形成箇所の外方に貫通孔を挟んで対向するように発光部及び受光部を配置して、上記回転軸の回転中に上記発光部から受光部に向かう光の断続に応じた回転パルス信号を出力するように構成された回転センサと、この回転パルス信号を入力してその周期に基づき所定回転角毎の回転速度を算出するとともに、その少なくとも2回分の回転速度データから加速度を算出する演算手段とを有するものである。

【0015】この装置によると、上記回転軸の回転中に、上記計測方法が自動的に実行されて、上記演算手段で回転速度及び加速度のデータが得られ、上記駆動軸を駆動する電動モータ等の制御に有效地に利用される。

## 【0016】

【発明の実施の形態】本発明の実施の形態を図面に基づいて説明する。図1は本発明の適用の一例として動力ネジゲージの構成を示すブロック図であり、同図に示すように、この動力ネジゲージは、制御部1とゲージ作動部2とを含んで構成されている。制御部1はMCU（マイクロコンピュータユニット）3と、このMCU3に電気的に接続されたネジ径スイッチ4と、モータ駆動部5と、直列通信インターフェイス6と、電源回路7を有している。

【0017】また、ゲージ作動部2は、ネジゲージ10を回転駆動する電動モータ11と、該電動モータ11の回転数を検出する回転センサ20と、電動モータ11の回転を減速してネジゲージ10に伝達する減速機12と、所定値以上のトルクのネジゲージ10への伝達を遮断するトルクリミッタ13を備え、さらに、直列通信インターフェイス14と、表示部15と、操作スイッチ16を含んでいる。

【0018】上記電動モータ11は制御部1のモータ駆動部5に接続されており、上記MCU3とモータ駆動部5との間では電流がフィードバックされつつPWM制御信号が与えられるようになっている。また、各直列通信インターフェイス6、14は互いに通信可能となるよう接続されており、上記操作スイッチ16からの信号およびトルクリミッタ13からの後記停止信号が直列通信インターフェイス14、6を介してMCU3に入力される一方、MCU3からの後記ネジ深さ計測値を示す信号等が直列通信インターフェイス6、14を介して表示部15に送られるようになっている。

【0019】上記回転センサ20の具体的構造を図2～図4に基づいて説明する。これらの図に示す回転センサ20は、電動モータ11と減速機12との間に介設された略円筒状のハウジング21と、その中心部に回転自在に挿通支持された回転軸22と、その両側外方に配置された光学的検知手段とで構成されている。この光学的検知手段は、発光素子（LED）23aを回路基板23bに実装した発光部23と、受光素子（フォトトランジスター）24aを回路基板24bに実装した受光部24とを備え、これら発光部23および受光部24が回転軸22を挟んで対向配置されている。

【0020】上記回転軸22の一端は電動モータ11の出力軸11aに連結され、他端は減速機12の入力軸12aに連結されている。

【0021】上記回転軸22には、その軸心と直交する方向に回転軸22を貫通する2つの貫通孔25、26が形成されている。これらの貫通孔25、26は、断面円形で、互いに略直角な2方向に延び、回転軸22の内部で交差している。また、ハウジング21には、上記貫通孔25、26に対応する軸方向位置に、光路を構成する穴27、28が軸心と直角する方向（図3及び図4の上

下方向)に形成されており、各穴27, 28に前記発光素子23aと受光素子24aがそれぞれ臨んでいます。なお、発光素子23aから穴27、貫通孔25または26および穴28を通過して受光素子24aに到達する光は略平行光線となるように構成されている。

【0022】動力ネジゲージの制御、計測系統の構成を、図5および図6によって説明する。図5は制御、計測系統全体を示し、この図において、31はトルク制御手段であり、制御部1(図1参照)内のMCU3に機能的に含まれ、モータ駆動手段32(図1中のモータ駆動部5に相当)を介してモータ11を制御するものである。また、MCU3は、回転センサ20からの回転パルスを読み込む回転数検出手段33や、後述のような回転速度および加速度の演算を行なう演算手段34を機能的に含むとともに、半回転検出35およびネジ深さの計測36等を行なうようになっている。

【0023】そして、作業者によりネジゲージ10が検査対象であるネジ穴に嵌合されるとともに操作スイッチ16が操作されたときに、先ずネジゲージ10をネジ穴に噛み込ませるための準備動作として半回転だけモータ11が低速で駆動され、半回転検出後に、回転数の検出値とネジ径スイッチからの情報に基づくネジ深さの計測と、回転数検出に基づく回転速度、加速度の演算が行なわれつつ、これらのデータに基づいて設定される目標トルクに応じ、トルク制御手段31によりモータ駆動手段32を介してモータ11の駆動トルクが制御される。この場合、電流検出37によるデータがフィードバックされ、その検出値と目標トルクに見合う目標電流との比較に基づき、モータ11に対する供給電流が制御される。

【0024】さらに、上記トルクリミッタ13により、ネジゲージ10の回転トルクが規定値に達したときに停止信号が出力され、この停止信号に応じてモータ11の駆動が停止される。そして、そのときのネジ深さ(検査対象であるネジ穴の有効ネジ深さ)が表示され、このネジ深さが基準値以上か否かにより合格か不合格かが判別されるようになっている。

【0025】図6はモータ制御部分の構成を示し、当実施形態においてこのモータ制御部分は、半回転の検出が行なわれてから停止信号があるまでの間の制御を、図7に示すようなモータトルク特性に従って行なうようになっている。

【0026】すなわち、図6中の回転速度-トルク変換部41には、予め定められた最高回転速度R<sub>max</sub>と回転速度が0付近のときの要求トルクであるトルク限界値T<sub>o</sub>とが入力されるとともに、回転パルスに基づいた回転速度計算42による回転速度が入力される。そして、図7中に実線で示す要求トルクT<sub>m</sub>の特性から、回転速度に応じた要求トルクT<sub>m</sub>が输出される。この要求トルクT<sub>m</sub>は、モータ11の低速時に大きく、高速になるにつ

れて小さくなる。

【0027】また、回転速度の微分計算43によって加速度が求められ、この加速度と予め調べられたモータ11の回転部分の慣性質量Jとが乗算されることによりイナーシャトルクT<sub>j</sub>が求められ、このイナーシャトルクT<sub>j</sub>に1より小さい係数k(例えば0.5)が乗じられた値が、上記要求トルクT<sub>m</sub>に補正值として加算される。一方、トルク限界値T<sub>o</sub>にイナーシャトルクT<sub>j</sub>が加算されることにより、トルク限界値も補正される。そして、要求トルクT<sub>m</sub>に補正值(k·T<sub>j</sub>)を加算した値と補正されたトルク限界値とのうちで小さい方の値を目標トルクT<sub>r</sub>とする最小値選択44が行なわれた上で、その目標トルクT<sub>r</sub>に見合う電流をモータに供給する電流制御45が行なわれる。

【0028】このようなモータ制御部分の構成により、イナーシャトルクT<sub>j</sub>が正となる加速時には図7中の破線のように目標トルクT<sub>r</sub>が要求トルクT<sub>m</sub>より大きくなり、イナーシャトルクT<sub>j</sub>が負となる減速時には図7中的一点鎖線のように目標トルクT<sub>r</sub>が要求トルクT<sub>m</sub>より小さくされる。トルク限界値も加速時に高められ、減速時に引き下げられる。このように目標トルクT<sub>r</sub>を調整しているのは、ネジゲージ10に加わるトルクが加速時や減速時にモータ11のイナーシャによって要求からずれることを防止し、とくに、停止時にイナーシャでネジゲージ10が回り過ぎてネジ深さの計測値に誤差が生じるといった事態を防止するためである。

【0029】次に、このようなモータ制御の中で図2～図4の回転センサ20を用いて行なわれる回転速度の計測および加速度の演算の具体的方法を、図8および図9を参照しつつ説明する。

【0030】図8(a)は回転軸22が矢印方向に略半回転する間の光線断続状況を①, ②, ③…の各過程で示している。なお、この図では回転軸22の軸心と直交する断面において光線50の方向にX軸、これと直交する方向にY軸をとっている。

【0031】この図の①の過程では発光部23からの光線が回転軸22の外周面で遮断され、②の過程では光線50が貫通孔25内に入射されるものの内部壁面で遮断されることにより、これら①, ②の過程では光線50が40受光部24に到達しない。第1の貫通孔25の対角線L1がX軸と平行となる③の過程では発光部23からの光線50が貫通孔25を通過して受光部24に到達し始め、光線50の大部分が貫通孔25を通過する④の過程を経て、⑤の過程では光線が遮断される寸前となる。つまり、③～⑤の間では第1の貫通孔25を通過した光線50が受光される。

【0032】⑥の過程では光線が遮断される。それから、第2の貫通孔26の対角線L2がX軸と平行となる⑦の過程では、発光部23からの光線50が貫通孔26を通過して受光部24に到達し始める。そして、⑦の過

程から⑩の過程を経て、光線が遮断されるまでは、第2の貫通孔26を通過した光線50が受光される。次に⑪の過程で光線が遮断された後、10番目の過程では、再び光線50が第1の貫通孔25を通過して受光部24に到達し始める。この10番目の過程は、第1の貫通孔25の対角線がX軸と平行となったときであって、3番目の過程(③の過程)から正確に180°回転したときである。

【0033】このように回転軸22の回転に伴って光線50が断続されることにより、光線遮断時に「1」、光線到達時に「0」の信号が受光部から出力されるとすると、図8(b)に示すようなパルス信号が得られる。つまり、回転軸22の1回転中に4周期分のパルス信号が得られ、1周期のパルス信号が回転軸の略1/4回転(回転角でπ/2)に対応するものとなる。

\*

\* 【0034】このパルス信号の周期の計測に基づき、回転軸22の略1/4回転毎に回転速度が求められるとともに、その回転速度の今回の値と前回の値とに基づいて加速度が求められ、さらにその2回分の加速度の移動平均が求められることで正確な加速度(加速度の最終演算値)が求められる。つまり、パルス信号の1周期毎の各時点をP0, P1, P2, P3, P4とし、P0~P1, P1~P2, P2~P3, P3~P4の各時間をT1, T2, T3, T4とすると、P0時点での速度ω0および加速度a0を0として、P1, P2, P3, P4の各時点の速度、加速度および移動平均による正確な加速度は、次の表のようになる。

【0035】

【表1】

	P1時点	P2時点	P3時点	P4時点
速度	$\omega_1 = \pi / (2 \cdot T_1)$	$\omega_2 = \pi / (2 \cdot T_2)$	$\omega_3 = \pi / (2 \cdot T_3)$	$\omega_4 = \pi / (2 \cdot T_4)$
加速度	$a_1 = (\omega_1 - \omega_0) / T_1$	$a_2 = (\omega_2 - \omega_1) / T_2$	$a_3 = (\omega_3 - \omega_2) / T_3$	$a_4 = (\omega_4 - \omega_3) / T_4$
正確な加速度 (2移動平均)	$a_1^* = (a_0 + a_1) / 2$	$a_2^* = (a_1 + a_2) / 2$	$a_3^* = (a_2 + a_3) / 2$	$a_4^* = (a_3 + a_4) / 2$

【0036】ところで、上記貫通孔25, 26に加工誤差がある場合、両貫通孔25, 26の分割角度(パルス信号の1周期分の回転角度)に誤差が生じるが、このような分割角度誤差があっても、前述のように図8(a)中の3番目の過程と10番目の過程との間は正確に180°となり、回転軸22の半回転で分割角度誤差の影響をなくすことができる。

【0037】この点をより具体的に説明する。例えば図9に示すように、互いに直交するX軸およびY軸が回転軸22の中心を通ることとし、第1の貫通孔25の中心線が上記Y軸と平行となる状態において、Y軸に対して第1の貫通孔25の中心線がX軸方向にaだけずれ、また、第2の貫通孔26の中心線がX軸に対してbだけ傾き、かつ、Y軸上でbだけずれているとする。この場合、以下の(1)~(6)のような計算により、分割誤差とその影響が調べられる。なお、回転軸22の半径をr、貫通孔25, 26の半径をdとする。

【0038】(1) 贯通孔25の対角線L1とy軸との交差角度θ1

貫通孔25の対角線L1の両端の点A1およびA3の座標を(x1, y1)および(x3, y3)とすると、これらの値は次のようになる。

【0039】

※【数1】

$$\begin{aligned}x_1 &= d + a \\y_1 &= (r^2 - (d + a)^2)^{1/2} \\x_3 &= -(d + a) \\y_3 &= -(r^2 - (d - a)^2)^{1/2}\end{aligned}$$

30 【0040】そして、 $(a^2 + 2a \cdot d) / (r^2 - d^2) \ll 1$ であれば、交差角度θ1は次のようにもとめられる。

【0041】

【数2】

$$\tan \theta_1 = (d \cdot (r^2 - d^2)^{-1/2}) + a^2 \cdot d \cdot \{1 + d^2 / (r^2 - d^2)\} / (2 \cdot (r^2 - d^2)^{3/2})$$

【0042】ここで、理想状態のときの交差角度をθ0とし、 $\theta_1 = \theta_0 + \alpha$ とすると、

40 【0043】

【数3】

$$\tan \theta_0 = d \cdot (r^2 - d^2)^{-1/2}$$

【0044】となるので、数2の式は

【0045】

【数4】

※

$$\tan(\theta_0 + \alpha) = \tan \theta_0 + \tan \alpha (1 + \tan^2 \theta_0) + a^2 \cdot d \cdot (1 + \tan^2 \theta_0) / (2 \cdot (r^2 - d^2)^{3/2})$$

【0046】となる。また、

【0047】

$$\star \text{【数5】 } \tan(\theta_0 + \alpha) = \tan \theta_0 + \tan \alpha (1 + \tan^2 \theta_0)$$

★50 であるので、これと数4の式とから、交差角度のずれ分

9

である $\alpha$ は、次のように求められる。

【0048】

【数6】

$$\tan \alpha = 2 \cdot a^2 \cdot d \cdot (r^2 - d^2)^{-3/2}$$

$$\alpha \approx 2 \cdot a^2 \cdot d \cdot (r^2 - d^2)^{-3/2} \text{ [rad]}$$

【0049】(2) 貫通孔26の対角線L2とy軸との交差角度 $\theta_2$

貫通孔26の対角線L2の両端の点A2およびA4の座標を(x2, y2)および(x4, y4)とすると、

【0050】

$$【数7】 y4 = -(d-b) + x4 \cdot \tan \psi$$

$$r^2 = x4^2 + \{(d-b) + x4 \cdot \tan \psi\}^2$$

であるので、点A4の座標は

【0051】

【数8】

$$x4 = \cos \psi \cdot [(d-b) \cdot \sin \psi + \{r^2 - (d-b)^2 \cdot \cos^2 \psi\}^{1/2}]$$

$$y4 = -(d-b) \cdot \cos^2 \psi + \sin \psi \cdot \{r^2 - (d-b)^2 \cdot \cos^2 \psi\}^{1/2}$$

\*【0052】となり、また、

【0053】

$$【数9】 y2 = (d+b) + x2 \cdot \tan \psi$$

$$r^2 = x2^2 + \{(d+b) + x2 \cdot \tan \psi\}^2$$

であるので、点A2の座標は

【0054】

【数10】

$$x2 = \cos \psi \cdot [(d+b) \cdot \sin \psi - \{r^2 - (d+b)^2 \cdot \cos^2 \psi\}^{1/2}]$$

$$10 y2 = (d+b) \cdot \cos^2 \psi - \sin \psi \cdot \{r^2 - (d+b)^2 \cdot \cos^2 \psi\}^{1/2}$$

【0055】となる。従って、交差角度 $\theta_2$ は次のように求められる。

【0056】

【数11】

$$\begin{aligned} *20 \\ \tan \theta_2 &= (y2 - y4) / (x4 - x2) \\ &= [2 \cdot d \cdot \cos^2 \psi - \sin \psi \cdot \{r^2 - (d+b)^2 \cdot \cos^2 \psi\}^{1/2} \\ &\quad + \{r^2 - (d-b)^2 \cdot \cos^2 \psi\}^{1/2}] \\ &/ [-2 \cdot d \cdot \sin \psi + \{r^2 - (d-b)^2 \cdot \cos^2 \psi\}^{1/2} \\ &\quad + \{r^2 - (d+b)^2 \cdot \cos^2 \psi\}^{1/2}] \end{aligned}$$

【0057】 $\psi \ll 1$ であれば、 $\cos \psi \approx 1$ 、 $\cos^2 \psi \approx 1$ 、 $\sin \psi \approx 0$ であるので、交差角度 $\theta_2$ は次のようになる。

【0058】

【数12】

$$\tan \theta_2 \approx 2 \cdot d / [\{r^2 - (d-b)^2 \cdot \cos^2 \psi\}^{1/2} + \{r^2 - (d+b)^2 \cdot \cos^2 \psi\}^{1/2}] - \tan \psi$$

※【0059】ここで、理想状態のときの交差角度を $\theta_0$ とし、 $\theta_2 = \theta_0 + \beta + \gamma$ とすると、

【0060】

30 【数13】

$$\tan \theta_0 = d \cdot (r^2 - d^2)^{-1/2}$$

【0061】となるので、 $\psi \ll 1$ であれば、

【0062】

※【数14】

$$\begin{aligned} \tan(\theta_0 + \beta + \gamma) &\approx \tan \theta_0 - \tan \psi \\ &\quad + b^2 \cdot d \cdot (1 + \tan^2 \theta_0) / \{2 \cdot (r^2 - d^2)^{3/2}\} \\ \tan(\theta_0 + \beta) &\approx \tan \theta_0 + b^2 \cdot d \cdot (1 + \tan^2 \theta_0) / \{2 \cdot (r^2 - d^2)^{3/2}\} \\ \tan(\theta_0 + \beta + \gamma) &\approx \tan(\theta_0 + \beta) - \tan \psi \end{aligned}$$

【0063】となる。従って、交差角度のずれ分である 40★角度誤差

$\beta$ は、次のように求められる。

【0064】

【数15】

$$\begin{aligned} \tan \beta &= 2 \cdot b^2 \cdot d \cdot (r^2 - d^2)^{-3/2} \\ \beta &\approx 2 \cdot b^2 \cdot d \cdot (r^2 - d^2)^{-3/2} \end{aligned}$$

【0065】(3) 略直交する貫通孔25, 26の分割★

$$\phi_1 = \pi/2 + \theta_1 - \theta_2$$

$$= \pi/2 + 2 \cdot (a^2 - b^2) \cdot d \cdot (r^2 - d^2)^{-3/2} + \psi \text{ [rad]}$$

【0067】となる。また、 $\phi_2$ ,  $\phi_3$ ,  $\phi_4$ は、

【数16】

☆50☆【0068】

図9中に示すように点A1から点A2までの角度を $\phi_1$ 、点A2から点A3までの角度を $\phi_2$ 、点A3から点A4までの角度を $\phi_3$ 、点A4から点A1までの角度を $\phi_4$ とする。 $\phi_1$ は貫通孔25, 26の対角線L1, L2の交差角度に相当であるから、

【0066】

11

【数17】 $\phi_3 = \phi_1$ 

$$\phi_2 = \phi_4 = \pi - \phi_1$$

となる。

【0069】分割誤差は、 $\pi/2$  [rad] からのずれであるから、 $\delta = (\phi - \pi/2) / (\pi/2)$  を分割誤差率とする \*

$$\delta_1 = \delta_3 = 2 \cdot \{2 \cdot (a^2 - b^2) \cdot d \cdot (r^2 - d^2)^{-3/2} + \psi\} / \pi$$

$$\delta_2 = \delta_4 = -2 \cdot \{2 \cdot (a^2 - b^2) \cdot d \cdot (r^2 - d^2)^{-3/2} + \psi\} / \pi$$

12

\* と、 $\phi_1, \phi_2, \phi_3, \phi_4$  の分割誤差率  $\delta_1, \delta_2, \delta_3, \delta_4$  は、次のようになる。

【0070】

【数18】

【0071】(4) 分割誤差による計測時間変動

回転軸が一定の角速度  $\omega$  で回転していると仮定すると、分割誤差がないときの回転パルスの周期  $T$  は、回転軸が  $\pi/2$  [rad] 回転する時間であるから、

【0072】

$$【数19】T = (\pi/2) / \omega$$

となる。

【0073】分割誤差があるときのパルス時間間隔  $T$ 1,  $T_2$ ,  $T_3$ ,  $T_4$  は次のようにになる。

【0074】

【数20】

$$T_1 = \phi_1 / \omega = \{(\pi/2) \cdot (1 + \delta_1)\} / \omega = T \cdot (1 + \delta_1)$$

$$T_2 = \phi_2 / \omega = \{(\pi/2) \cdot (1 + \delta_2)\} / \omega = T \cdot (1 + \delta_2)$$

$$T_3 = \phi_3 / \omega = \{(\pi/2) \cdot (1 + \delta_3)\} / \omega = T \cdot (1 + \delta_3)$$

$$T_4 = \phi_4 / \omega = \{(\pi/2) \cdot (1 + \delta_4)\} / \omega = T \cdot (1 + \delta_4)$$

従って、計測した時間から計算した回転軸の角速度  $\omega_1, \omega_2, \omega_3, \omega_4$  は次のようになる。

【0075】

【数21】

$$\omega_1 = (\pi/2) / T_1 = (\pi/2) / \{T \cdot (1 + \delta_1)\} = \omega / (1 + \delta_1)$$

$$\omega_2 = (\pi/2) / T_2 = (\pi/2) / \{T \cdot (1 + \delta_2)\} = \omega / (1 + \delta_2)$$

$$\omega_3 = (\pi/2) / T_3 = (\pi/2) / \{T \cdot (1 + \delta_3)\} = \omega / (1 + \delta_3)$$

$$\omega_4 = (\pi/2) / T_4 = (\pi/2) / \{T \cdot (1 + \delta_4)\} = \omega / (1 + \delta_4)$$

そして、 $\delta_1 = \delta_3, \delta_2 = \delta_4$  であるから、

【0076】

【数22】

$$D_{12} = D_{34} = 32 \cdot n^2 \cdot \{2 \cdot (a^2 - b^2) \cdot d \cdot (r^2 - d^2)^{-3/2} + \psi\}$$

$$D_{23} = D_{41} = -D_{12} = -D_{34}$$

【0082】となる。また、軸加工上、一般に

【0083】

【数27】

$$2 \cdot (a^2 - b^2) \cdot d \cdot (r^2 - d^2)^{-3/2} \ll \psi$$

【0084】であるから、

$$※ \omega_1 = \omega_3 = (\pi/2) / T_1 = (\pi/2) / \{T \cdot (1 + \delta_1)\}$$

$$= \omega / (1 + \delta_1)$$

$$\omega_2 = \omega_4 = (\pi/2) / T_2 = (\pi/2) / \{T \cdot (1 + \delta_2)\}$$

$$= \omega / (1 + \delta_2)$$

となる。

【0077】(5) 角速度の微分演算誤差

時間的に隣り合った角速度の計算値の差をとり、それを最新の回転パルス周期で除した値である次の  $D_{12}, D_{23}, D_{34}, D_{41}$  を、角速度のデジタル微分値とする。

【0078】

【数23】

$$D_{12} = (\omega_2 - \omega_1) / T_2$$

$$D_{23} = (\omega_3 - \omega_2) / T_3$$

$$D_{34} = (\omega_4 - \omega_3) / T_4$$

$$D_{41} = (\omega_1 - \omega_4) / T_1$$

この数23と数20、数21とから、 $D_{12}$  は次のように計算される ( $D_{23}, D_{34}, D_{41}$  の計算もこれに準じる)。

【0079】

【数24】

$$D_{12} = \omega \cdot \{1 / (1 + \delta_2) - 1 / (1 + \delta_1)\} / \{T \cdot (1 + \delta_2)\}$$

30  $= (2 \cdot \omega^2 / \pi) \cdot (\delta_1 - \delta_2) / \{(1 + \delta_1) \cdot (1 + \delta_2)^2\}$   
 $\delta_1 \ll 1, \delta_2 \ll 1, \delta_3 \ll 1, \delta_4 \ll 1$  であれば、1秒当たりの回転数を  $n$  とすると  $2 \cdot \omega^2 / \pi = 8 \cdot \pi \cdot n^2$  であるので、 $D_{12} \sim D_{41}$  は次のようになる。

【0080】

【数25】

$$D_{12} = 8 \cdot \pi \cdot n^2 \cdot (\delta_1 - \delta_2)$$

$$D_{23} = 8 \cdot \pi \cdot n^2 \cdot (\delta_2 - \delta_3)$$

$$D_{34} = 8 \cdot \pi \cdot n^2 \cdot (\delta_3 - \delta_4)$$

$$D_{41} = 8 \cdot \pi \cdot n^2 \cdot (\delta_4 - \delta_1)$$

40 さらに、数18から、

【0081】

※ 【数26】

$$D_{12} = D_{34} = 32 \cdot n^2 \cdot \{2 \cdot (a^2 - b^2) \cdot d \cdot (r^2 - d^2)^{-3/2} + \psi\}$$

$$D_{23} = D_{41} = -D_{12} = -D_{34}$$

★【0085】

【数28】

$$D_{12} = D_{34} = 32 \cdot n^2 \cdot \psi$$

$$D_{23} = D_{41} = -32 \cdot n^2 \cdot \psi$$

★50 と近似することができる。

13

【0086】(6) 2個の微分値の移動平均  
最新の微分値と1個前の微分値との移動平均は次のようになる。

【0087】

【数29】

$$\begin{aligned}(D12+D23)/2 &= 4 \cdot \pi \cdot n^2 \cdot (\delta 1 - \delta 3) \\ (D23+D34)/2 &= 4 \cdot \pi \cdot n^2 \cdot (\delta 2 - \delta 4) \\ (D34+D41)/2 &= 4 \cdot \pi \cdot n^2 \cdot (\delta 3 - \delta 1) \\ (D41+D12)/2 &= 4 \cdot \pi \cdot n^2 \cdot (\delta 4 - \delta 2)\end{aligned}$$

ここで、 $D12=D34=-D23=-D41$ であるから、

【0088】

【数30】

$$\begin{aligned}(D12+D23)/2 &= 0 \\ (D23+D34)/2 &= 0 \\ (D34+D41)/2 &= 0 \\ (D41+D12)/2 &= 0\end{aligned}$$

となる。

【0089】つまり、前述の図2～図4に示す回転数センサ20を用いて回転速度を計測するとともに微分値である加速度を求める場合に、デジタル微分値の2個の移動平均をとれば、原理的には、分割誤差の影響をなくすことができる。

【0090】しかも、1/4回転毎に回転速度が求められるとともに、その回転速度の2個のデータ(1/2回転分のデータ)からデジタル微分値が得られるので、その2個の移動平均をとったとしても回転軸の1回転以内で加速度が精度良く求められ、従来と比べると加速度を正しく求めるために必要な最小限の回転量が半分に減少する。従って、動力ネジゲージにおけるモータ11の制御の応答性および精度が高められる。

【0091】もっとも、上記微分値の移動平均の計算としては、最新の微分値とそれ以前の3個の微分値の移動平均をとるようにしてもよく、このようにすると、角速度一定の場合の演算値(分割誤差の影響)は次のようになり、 $D12=D34=-D23=-D41$ の条件を満足しなくても分割誤差の影響をなくすことができる。

【0092】

【数31】 $(D12+D23+D34+D41)/4 = 8 \cdot \pi \cdot n^2 \cdot ((\delta 1 - \delta 2) + (\delta 2 - \delta 3) + (\delta 3 - \delta 4) + (\delta 4 - \delta 5)) = 0$

なお、上記実施形態では、回転センサの回転軸に略直交する2方向の貫通孔25、26を設けているが、3方向以上の貫通孔を所定角度(例えば3方向の場合は60°)をもって交差するように配設してもよい。

【0093】

14

【発明の効果】以上のように本発明は、回転軸にその軸心と直交し、かつ互いに交差する複数方向の貫通孔を形成するとともに、この回転軸の両側に発光部と受光部とを配置して回転センサを構成し、回転軸の回転中に発光部から上記貫通孔を透過して受光部に達する光の検出に基づいて所定回転角毎に回転速度を計測し、その少なくとも2回分の回転速度計測データから加速度を算出するようしているため、回転センサのコンパクト化を可能にしつつ、回転軸の回転速度および加速度を、従来と比べて少ない回転量で速やかに、かつ正確に求めることができる。例えば、互いに略直交する2方向の貫通孔を回転軸に形成することにより、回転軸の1/4回転毎に回転速度が求められ、その少なくとも2回分のデータに基づいて加速度が算出され、回転軸の1回転以内でも加速度の検出が可能となる。

【0094】従って、回転速度および加速度の計測に基づいてモータ等を制御する場合に、その制御の応答性および精度を高めることができる。

【図面の簡単な説明】

20 【図1】本発明が適用される動力ネジゲージの構成を示すブロック図である。

【図2】回転センサの分解状態斜視図である。

【図3】回転センサの断面図である。

【図4】図3のA-A線断面図である。

【図5】上記動力ネジゲージの計測、制御系統を示す機能ブロック図である。

【図6】モータ制御部分の構成を示す機能ブロック図である。

【図7】モータのトルク特性を示す図である。

30 【図8】(a)は回転センサの回転軸の回転の各過程における状態を示す説明図であり、(b)は回転センサから出力される回転パルスの説明図である。

【図9】回転数センサの分割誤差とその影響を示すための説明図である。

【符号の説明】

1 制御部

2 ゲージ作動部

11 モータ

20 回転センサ

40 23 発光部

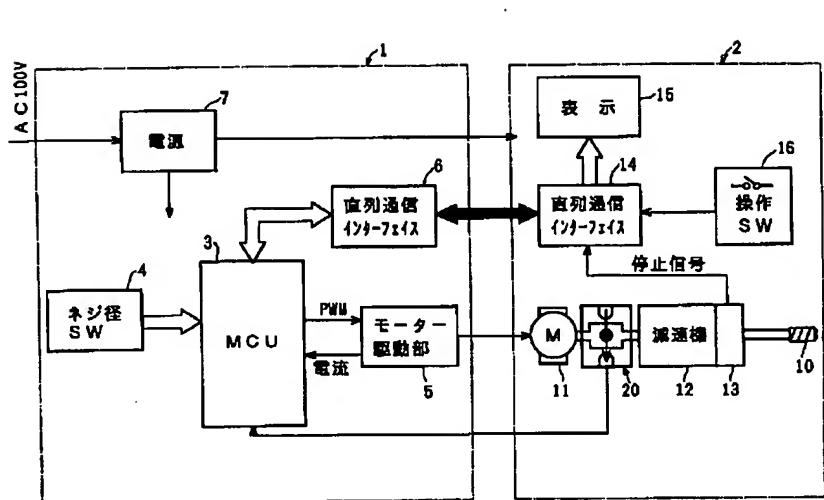
24 受光部

25, 26 2方向の貫通孔

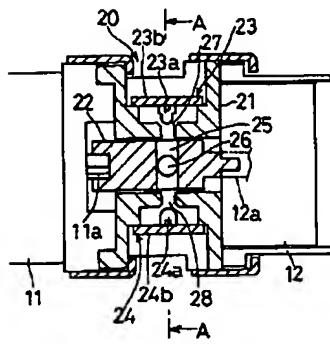
33 回転数検出手段

34 演算手段

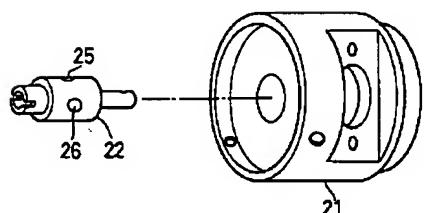
【図1】



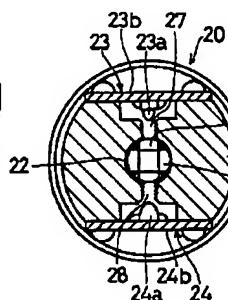
【図3】



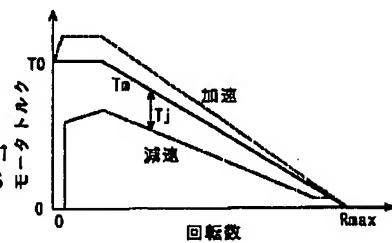
【図2】



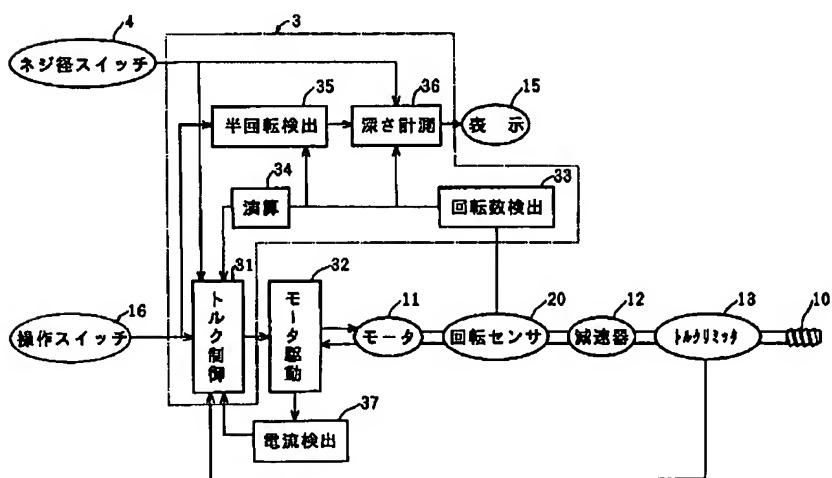
【図4】



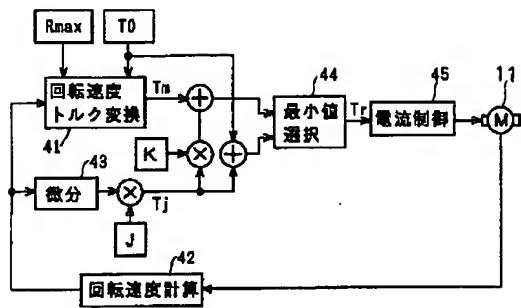
【図7】



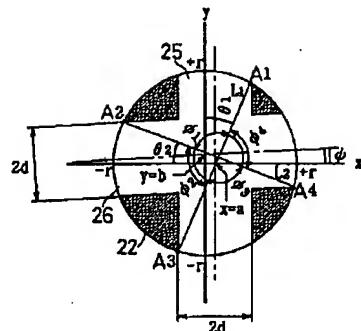
【図5】



【図6】



【図9】



【図8】

